寄生蜂在柑橘木蝨防治體系中之角色

錢景秦
台灣省農業試驗所應用動物系助理研究員

摘　要

柑橘木蝨為柑橘立枯病之媒介昆蟲，其危害已嚴重影響柑橘之產業，因而其防治深受重視。臺灣自1983年至1990年間曾試行自留尼旺島引進亮腹釉小蜂進行柑橘木蝨之生物防治，結果證實該蜂在月橘棲所較穩定環境下，確對柑橘木蝨具抑制效果，且可避免該成蟲之顯著遷飛。因而建議在月橘上，應儘可能保持其棲所之穩定性，避免經常性之大幅修剪或施藥，使已立足之亮腹釉小蜂與本地種紅腹跳小蜂能發揮其寄生能力，維持柑橘木蝨族群低密度穩定消長。而在柑橘園內，為顧及1隻帶毒之柑橘木蝨成蟲即可傳病，且柑橘園內不連續之芽期及施藥不利寄生蜂活動、柑橘木蝨對藥劑相當敏感、及橘園栽培管理中必需施藥防蟲等因素，因而為減少柑橘之罹病率，建議在柑橘園內柑橘木蝨之防治，可忽略寄生蜂之應用，而側重於柑橘園之栽培管理與藥劑防治。

關鍵詞：柑橘木蝨、寄生蜂、生物防治、綜合防治體系

前　言

柑橘木蝨(*Diaphorina citri* Kuwayama)為柑橘之害蟲，其成蟲與若蟲除直接吸食柑橘之嫩芽、葉、枝條及分泌蜜露，導致寄主植物葉片捲曲、枝條萎凋及誘發煤病外，該成蟲與帶毒之第四、五齡若蟲羽化為成蟲後亦媒介柑橘立枯病(likubin = huanglungbin = greening)，嚴重影響柑橘產業[1,17,26,31,43,44,45]。因而該蟲之防治深受重視。

柑橘木蝨之防治方法有四，包括栽培管理，藥劑防治、顏色黏板誘集及生物防治等。在管理良好之柑橘園內，由於柑橘木蝨之產卵習性及對藥劑之敏感性，柑橘木蝨發生密度均低。可是普遍用作綠籬之月橘(*Murraya paniculata* (L.) Jack)、或疏於管理與廢棄之柑橘園，卻成為柑橘木蝨之孳生地。為抑低此些棲所上柑橘木蝨之族群密度，進而減少柑橘立枯病之發病率，有關該蟲生物防治之研發自1978年在留尼旺島(Reunion Is.)[16]與1983年在臺灣[13,18]開始後，中國大陸[36,37,38,39,40,41]、尼泊爾[28]、菲律賓[22,23,29]、泰國[15]、馬來西亞[30]及印尼[32]等地亦在聯合國糧農組織區域性計畫－柑橘維綠病防治項下積極進行。柑橘木蝨之天敵已記錄者包括兩種寄生蜂－亮腹釉小蜂(*Tamarixia radiata* (Waterston))與紅腹跳小蜂(*Diaphorencyrtus diaphorinae* (Lin and Tao))，兩種寄生菌－*Capnodium citril* B. & Desm. 與 *Cephalosphorium lecanii* Zimm ，及一些捕食性天敵－如草蛉類之安平草蛉(*Mallada boninensis* (Okamoto))與七點草蛉(*Chrysopa septempunctata* Wesmael)，瓢蟲類之六條瓢蟲(*Menochilus sexmaculatus* Fabricius)、雙帶盤瓢蟲(*Coelophora biplagita* (Swartz))、異色瓢蟲(*Leis axyridis* (Pallas))、八斑瓢蟲(*Synharmonia octomaculata* (Fabricius))、粉白小黑瓢蟲 *Serangium* sp. 及 *Cheilomenes quadriplagiata*

Swartz，巨眼椿象 *Geocoris* sp.， 蠅虎 *Marpissa tigrina* Tikader 及蟎等 (1,5,14,16,35)。其中捕食性天敵由於發生期較晚、繁殖慢與柑橘木蝨之發生無法同步，同時彼等對寄主之專一性弱，如某些種類較偏好捕食蚜蟲，因而在留尼旺島 (21)、尼泊爾 (28) 及臺灣 (1) 等地，捕食性天敵在柑橘木蝨生物防治上被認爲較無利用價值。而寄生菌之研究尚屬開發階段。目前僅寄生蜂在留尼旺島與臺灣兩地已成功地抑制月橘上柑橘木蝨之低密度發生 (6,7,16,19)。爲深入探討在臺灣地區寄生蜂對柑橘木蝨之抑制能力並增加其防治效果，本文除簡介臺灣地區柑橘木蝨生物防治之背景外，尚就寄生蜂之生物特性與寄生策略進行有效寄生蜂之篩選、並評估寄生蜂對柑橘木蝨之防治效力及闡釋棲所穩定性對柑橘木蝨與其寄生蜂之影響，進而希冀加強寄生蜂之保育及藉供在柑橘立枯病與柑橘木蝨綜合防治體系中寄生蜂應用之參考。

臺灣地區柑橘木蝨生物防治之背景

臺灣地區柑橘木蝨之本地天敵除捕食性之安平草蛉、六條瓢蟲、粉白小黑瓢蟲及巨眼椿象外，僅有一種紅腹跳小蜂 (1,5)。前者對柑橘木蝨之影響力低 (1)；而後者雖廣泛分布，在6至12月間其寄生率可達 15.0～56.9%，可是該蜂在1至5月間之寄生率僅0.1～15.1 %(圖1)，且全年該蜂被重複寄生率高達25～51%(圖2)，以致嚴重影響紅腹跳小蜂對柑橘木蝨之抑制潛能 (7,13)。於是臺灣省農業試驗所自1983至1986年間分4次由留尼旺島引進亮腹釉小蜂，結果共成功引進62隻成蜂。經室內檢疫增殖後，於1984至1988年間共繁殖21,164隻，分別在臺灣省農業試驗所甜橙園及13縣市之39處月橘綠籬上釋放，至1987年11月證實該蜂已在臺灣全島立足 (13,18)。

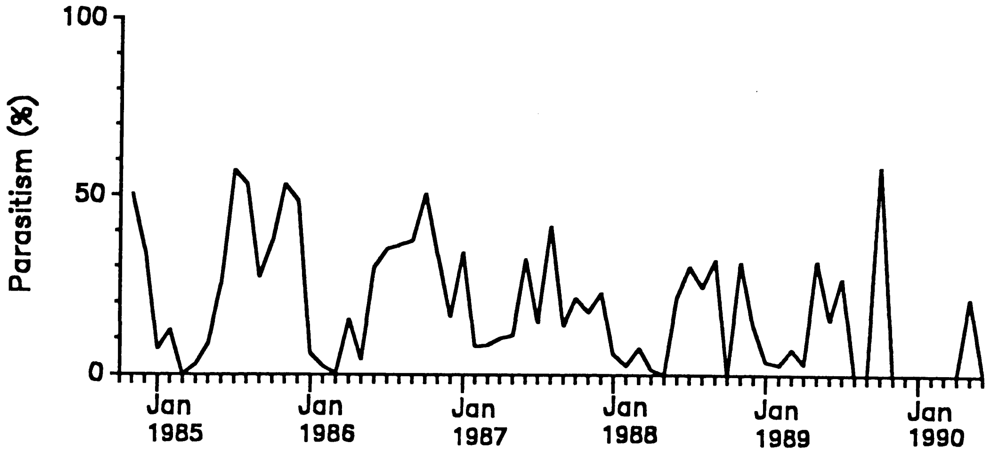

圖1.臺灣地區紅腹跳小蜂對柑橘木蝨之寄生率。

Fig. 1. Percentage of parasitism of *D. diaphorinae* on *D. citrus* in Taiwan.

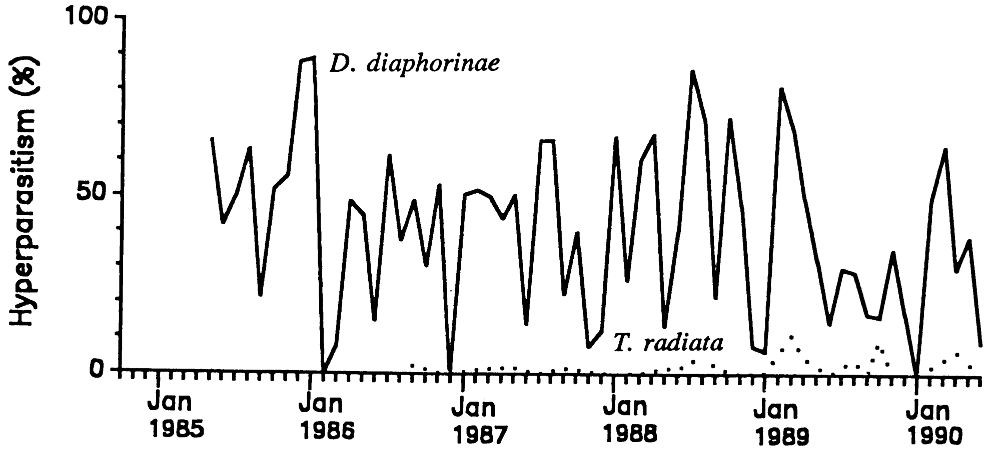

圖2.臺灣地區重複寄生蜂對紅腹跳小蜂與亮腹釉小蜂之重複寄生率。
Fig. 2. Percentage of parasitism of hyperparasitism on *D. diaphorinae* and *T. radiata* in Taiwan.

柑橘木蝨寄生蜂之生物特性與其寄生策略

Gauld and Bolton[24]認爲寄生蜂與寄主在長期演化過程中，寄生蜂爲順利寄生寄主並繁殖子代，在生活習性上已發展出許多寄生策略與生物特性，而此些策略、特性除可供害蟲生物防治上選取有效天敵之標準外，尚可闡釋寄生蜂與寄主間之族群動態。因而此等寄生蜂行爲學之觀察甚受重視。至於有關亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂之族群介量與習性，亮腹釉小蜂部分已有多篇發表[6,8,9,10,11,12,19,20]，而紅腹跳小蜂部分除少數已略述外[6,19]，大多屬錢景秦、朱耀沂及古琇芷之未發表資料。今比較兩蜂之生物特性與寄生策略（表1），發現在25℃下當每日供應20隻寄主時，紅腹跳小蜂之生殖力雖與亮腹釉小蜂相當，且其具單產雌性孤雌生殖之優勢，但由於該蜂之一代發育期較長與過寄生率高（種內競爭較大）等之劣勢，以致該蜂之內在增殖率（0.2190／天）較亮腹釉小蜂（0.3077／天） 弱。同時就寄生蜂對寄主之致死力與寄主利用率之觀點而言，亦顯示亮腹釉小蜂對柑橘木蝨之抑制力較紅腹跳小蜂爲大。另在種間競爭方面，經室內試驗結果證實，當寄主密度爲20 隻時，兩種成蜂間之競爭率可達20% ，而幼蟲間之競爭，由於亮腹釉小蜂之卵及第一、二齡幼蟲期之發育期較紅腹跳小蜂爲短，以致不論兩種寄生蜂同時產卵於同一隻柑橘木蝨上，或紅腹跳小蜂早產卵6天，亮腹釉小蜂均終將取得優勢。但若就寄生蜂隔離寄主後，其調節產卵與寄主同律之期限，在25℃、供食蜂蜜情況下，亮腹釉小蜂僅20天，而紅腹跳小蜂則可長達20～60天，顯示在有蜜源存在時，寄主中斷20天後，紅腹跳小蜂對環境之適應性較亮腹釉小蜂爲強。

表1.柑橘木蝨兩種寄生蜂之族群介量與其寄生策略

Table 1. Population parameters and parasitism strategies of two parasitoids of *Diaphorina citri*

Items	*T. radiata*	*D. diaphorinae*[z)]
Mode of egg production	synovigenic type	synovigenic type
Mode of reproduction	arrhenotoky	thelytoky
Strategy of parasitism	koinobiont, etco – parasitic	koinobiont, endo – parasitic
Mode of host – killing	mono – ectoparasitism, host feednig, venom	mono – endoparasitism, host feeding
Adult mostly activity		
emergence	5 – 10 a.m.	6 – 12 a.m.
oviposition and feeding	9 a.m. – 1 p.m.	5 a.m. – 1 p.m.
Host preference		
oviposition	5th instar nymph	4th instar nymph
host feeding	1st – 5th instar nymph	1st – 4th instar nymph
Superparasitism, %		
1 – 8 hosts / day	23 – 45	41 – 45
20 hosts / day	10	42
30 – 40 hosts / day	1 – 4	8 – 12
Oviposition and host feeding ratio	$\hat{y} = 2.392 + 0.132x - 0.002x^2$ $R^2 = 0.67$ (1 – 80 hosts / day)	$\hat{y} = 9.145 + 0.176x - 0.008x^2$ $R^2 = 0.76$ (1 – 40 hosts / day)
Longevity (25℃), days	23.6 (♀), 14.6 (♂)	19.6 (♀)
Lower developmental threshold, ℃	11 (egg – adult)	—
Degree – day, ℃ – day	165 (egg – adult)	—
Searching rate, day^{-1}	0.89	—
Handling time, min	$23.89 + 0.004N_t^2$	—
Reproduction (25℃)		
duration of one generation, days	11.4 (egg 1.9, larva 4, prepupa 0.6, pupa 4.9)	18.3
survival rate of one generation, %	88	84
female ratio	0.76	1.0
fecudity, eggs laid / ♀		
20 hosts / day	215	263
40 hosts / day	434	254
intrinsic rate of increase, day^{-1}	0.3077	0.2190

表1.柑橘木蝨兩種寄生蜂之族群介量與其寄生策略（續）

Table 1. Population parameters and parasitism strategies of two parasitoids of *Diaphorina citri* (continued)

Items	*T. radiata*	*D. diaphorinae*z)
Killing capability (25℃), no. hosts / ♀		
20 hosts / day	245	177
40 hosts / day	513	288
Host utilization, %		
lifetime		
2 – 8 hosts / day	90 – 94	61 – 78
20 hosts / day	68	41
30 – 40 hosts / day	55 – 68	39 – 46
most active oviposition period (9 days)		
20 hosts / day	90	56
Hyperparasitism		
species	7	11
parasitism, %	2.3	40.6
Interspecific competition	strong	weak
Mechenism of synchronism with host	oosorption	oosorption
Endurance of host deprivation (25℃), days	20	20 – 60

z) C. C. Chien, Y. I. Chu, and H. C. Ku, unpublished data.

臺灣地區寄生蜂對柑橘木蝨防治效果評估

一、寄生蜂對柑橘木蝨之抑制能力

為瞭解亮腹釉小蜂在臺灣地區立足後對柑橘木蝨之防治效果，乃於1987年10月至1990年6月在臺灣中部（臺中與彰化）與南部（高雄與屏東）亮腹釉小蜂原釋放區選定一處月橘盆栽（霧峰）、七處月橘綠籬及二處甜橙園（霧峰）為調查地點，調查柑橘木蝨成蟲、若蟲及被寄生若蟲乾屍數，以瞭解柑橘木蝨與其寄生蜂之消長，進而評估寄生蜂對柑橘木蝨之抑制效果。結果顯示各地因寄主植物與栽培管理方式之差異，導致寄生蜂對柑橘木蝨不同程度之抑制效果，列述如下。

㈠ 月橘棲所較穩定而亮腹釉小蜂寄生效果顯著者。霧峰之月橘盆栽與月橘綠籬分屬鄉公所與6幢公寓住戶所有，前者有80盆（每盆直徑40 cm）散放路寬12 m之街道兩旁，盆與盆間之距離約3 m，後者為公寓前之公共園藝設施。二處月橘之管理各由附近住戶負責，在此種情況下月橘甚少修剪，偶而住戶修剪自家門口處之月橘，且未撒佈任何藥劑。在這種棲所較穩定環境下，亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂對柑橘木蝨若蟲之總寄生率在2至4月間可高達80～100%，其它月份亦多在32～80%之間，其中亮腹釉小蜂之寄生率較高，約佔總寄生率之94.6%

(n = 13,270)。顯示早春時，亮腹釉小蜂與柑橘木蝨之間發生同律性，因而顯著地壓抑柑橘木蝨族群以後之增長，致使柑橘木蝨成蟲密度呈現穩定下降趨勢，至1990年平均每長10 cm枝條上柑橘木蝨成蟲數維持在0.2～1.1隻之間，且成蟲數均較未寄生若蟲數多（圖3）。由於柑橘木蝨成蟲壽命長達100天，且聚集性高，有時一葉上可達百餘隻，以致該成蟲數呈累加性。從此或可證實在平均每長10 cm枝條上柑橘木蝨成蟲數在0.2～1.1隻時，該蟲未有顯著遷飛現象，否則柑橘木蝨若蟲數應較成蟲數多[6,7]。

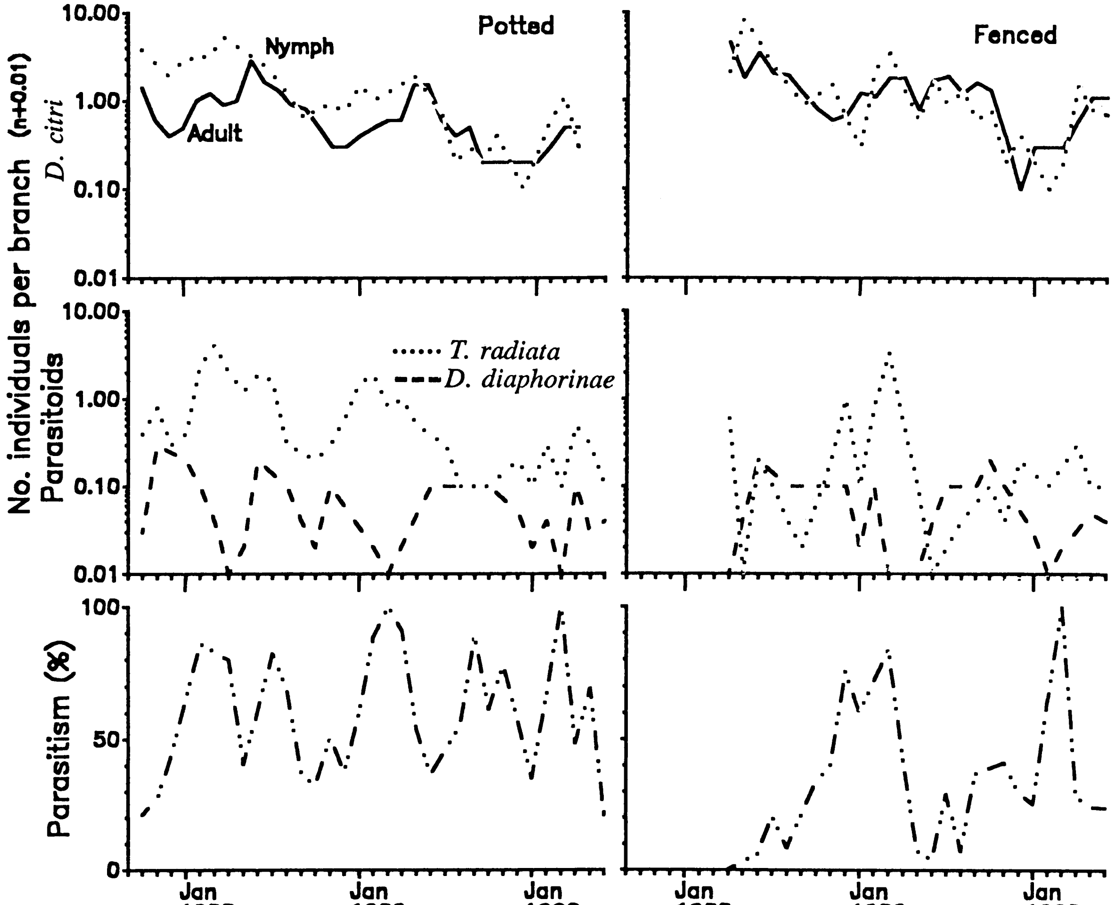

圖3. 在月橘棲所穩定（臺中霧峰）時柑橘木蝨與其寄生蜂之消長及其寄生率。

Fig. 3. Parasitism and population fluctuation of *D. citri* and its parasitoids under stable habitat of *M. paniculata* at Wufeng, Taichung.

㈡ 月橘棲所中度穩定而寄生蜂發揮適度效果者。由圖4得知，澄清湖與前屏東農專舊址之月橘綠籬在不常全面性大幅修剪、而棲所中度穩定情況下，1988至1990年在平均每長10 cm枝條上之柑橘木蝨成蟲數維持在0～0.7隻，而被亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂寄生之柑橘木蝨乾屍數各在0～0.2個與0～0.3個之間。此結果不但顯示亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂間之發生量無明顯差異，同時亦顯示月橘綠籬若無經常性大幅修剪，則不會刺激月橘大量萌芽以誘使柑橘木蝨之聚集產卵，此時柑橘木蝨族群在兩種寄生蜂之抑制下呈低密度之穩定消長[7]。其中前屏東農專舊址之調查地點因該校遷址，月橘綠籬乏人照料，被牛皮凍（又名雞屎籐，*Paederia scandens* (Lour.) Merr.）嚴重覆蓋，乃於1989年9月結束調查。

㈢ 月橘棲所穩定性較弱而大幅修剪或殺蟲劑之施用影響寄生蜂效果者。由圖5得知，田尾、大樹、高雄區農業改良場及潮州等處之月橘綠籬在每年全面性大幅修剪3～4次，甚至田尾地區施用殺蟲藥劑之情況下，柑橘木蝨與寄生蜂之發生均受影響，其中尤以對寄生蜂之影響爲甚，以致寄生蜂之發生密度顯較柑橘木蝨密度低。此時月橘之大幅修剪雖一時降低柑橘木蝨之密度，但因修剪亦刺激月橘萌芽，誘使柑橘木蝨產卵，及寄生蜂僅能抑制部分柑橘木蝨若蟲，乃致柑橘木蝨成蟲密度增高呈現較大波動。1989至1990年間，田尾、大樹、高雄區農業改良場及潮州四地平均每長10 cm枝條上柑橘木蝨成蟲數各維持在0.1～2.5隻、0.1～1.0隻、0.2～1.1隻及0.4～3.5隻之間[7]。

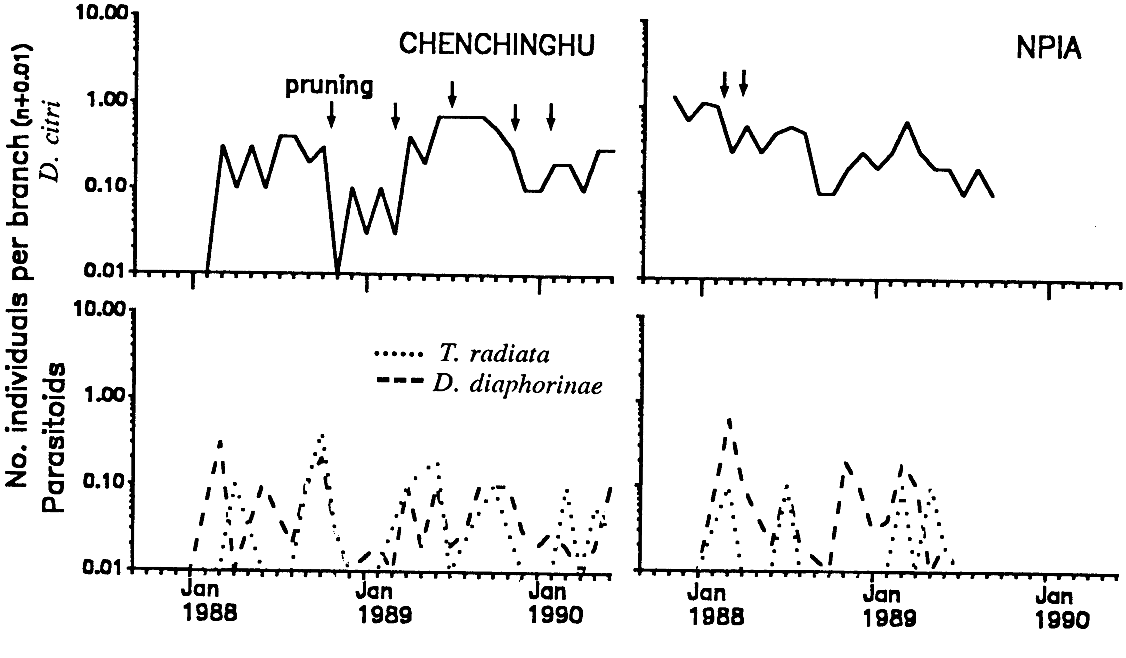

圖4. 在月橘棲所中度穩定（澄清湖與前國立屏東農專舊址）時柑橘木蝨與其寄生蜂之消長。

Fig. 4. Population fluctuation of *D. citri* and its parasitoids under intermediate stable habitat of *M. paniculata* at Chenchinghu and former campus of National Ping - Tung Institute of Agricultrue (NPIA).

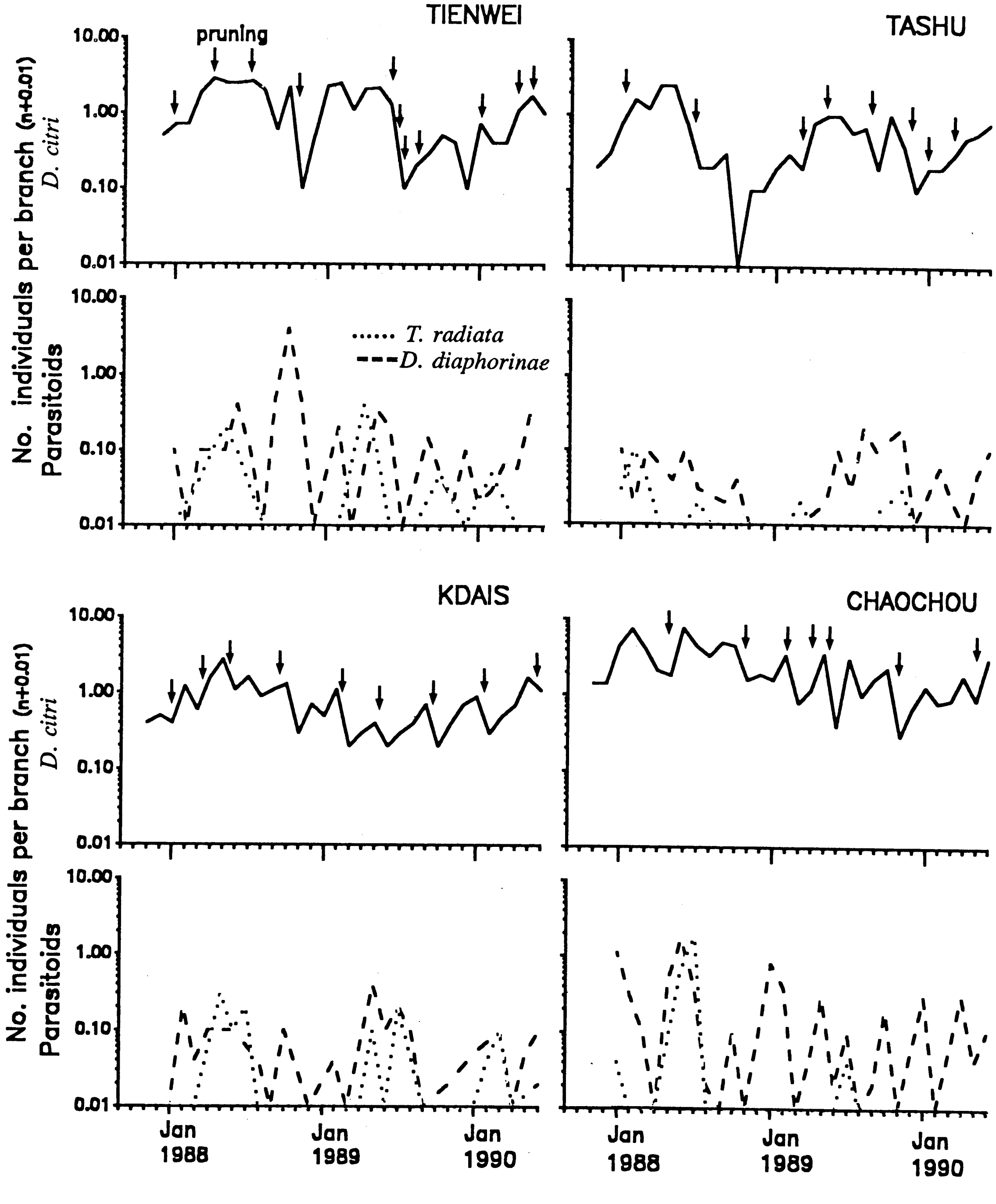

圖5. 在月橘棲所穩定性弱（田尾、大樹、高雄區農業改良場及潮洲）時柑橘木蝨與其寄生蜂之消長。

Fig. 5. Population fluctuation of *D. citri* and its parasitoids under unstable habitat of *M. paniculata* at Tienwei, Tashu, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station (KDAIS) and Chaochou.

(四)甜橙園內柑橘木蝨非持續發生、施藥或罹病影響寄生蜂效果者。

1. 施藥甜橙園。此園面積爲 0.5 ha, 當園內其它害蟲發生多時，即施用 90% 納乃得 (methomyl) 可濕性粉劑 3,000 倍之稀釋液。結果發現在施藥後，柑橘木蝨成蟲密度亦降至零；然未施藥時，在2月與7月柑橘木蝨成蟲（各0.001與0.01隻／10 cm枝條）仍可侵入在萌芽期之柑橘園，同時3至5月與8至10月間平均每長10 cm 枝條上之柑橘木蝨成蟲數各達 0.003～0.06隻與0.001～0.02隻，第四與第五齡柑橘木蝨若蟲數亦各達0隻與0.2～0.025隻，但9、10月間柑橘木蝨之被寄生率僅各爲0.4 與4.2%，顯見寄生蜂在橘園施藥及柑橘木蝨若蟲非持續性發生與低密度情況下，未能發揮其對柑橘木蝨之寄生力（圖6）(7)。

2. 未施藥甜橙園。此園面積爲 0.55 ha，原屬線蟲試驗區，但已閒置2年，經除草、施肥、補植缺株後，闢爲不施藥之對照園。該園由於長期未施藥，且鄰近柑橘立枯病病區 (100m)，試驗期間園內甜橙相繼罹患柑橘立枯病，其病葉與不定期萌出之新芽均誘使柑橘木蝨成蟲聚集產卵，以致1988至1989年中之4至11月間寄生蜂之寄生率雖達16～47%，但平均每長10 cm 枝條上之柑橘木蝨成蟲與第四、第五齡若蟲數仍各在0.1～0.4隻與0.1～1.3隻之間，且試驗用甜橙樹相繼枯死，1989年10月乃結束調查（圖6）(7)。

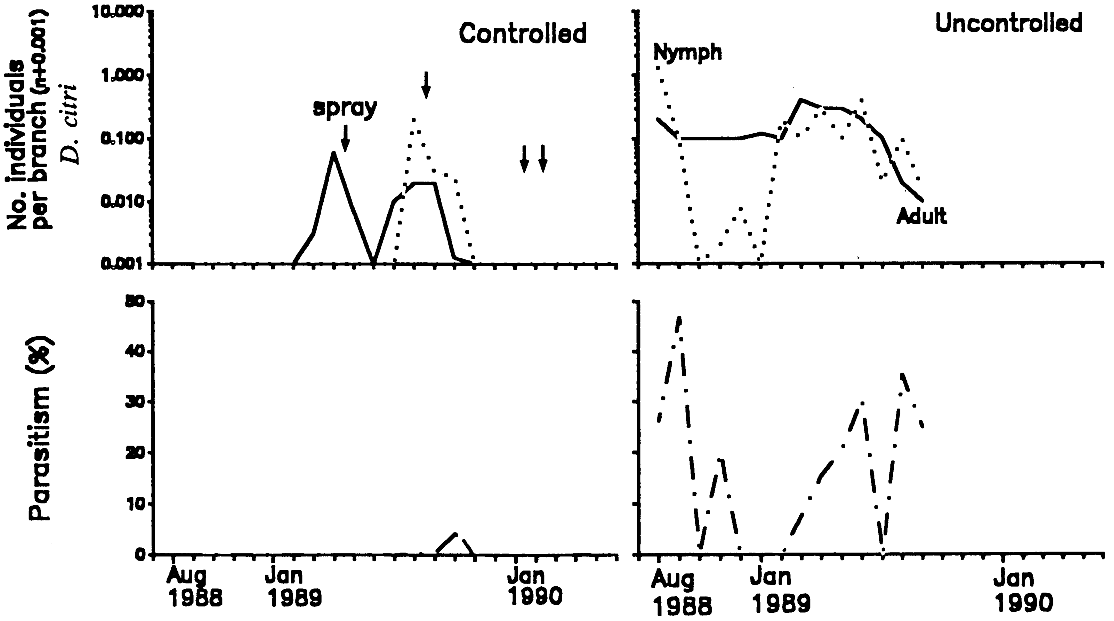

圖 6. 在臺中萬豐施藥與不施藥甜橙園內柑橘木蝨與其寄生蜂之消長。

Fig. 6. Population fluctuation of *D. citri* and its parasitoids in controlled and uncontrolled *Citrus sinensis* orchards at Wanfeng, Taichung.

二、亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂間之競爭與協力效果

進行害蟲生物防治時，引進天敵與本地天敵間之競爭常是生物防治工作者必需考慮的問題之一。其除可減低天敵對害蟲之抑制能力外，尚可造成自然界種之置換。在臺中地區之月橘上，引進種亮腹釉小蜂雖為優勢種，其對柑橘木蝨之寄生率佔寄生蜂總寄生率之 94.6% 。但由於亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂之發生盛期有季節性之分離（seasonal separation），以致兩種寄生蜂間之競爭並不明顯。另當兩種寄生蜂同時存在時，彼此對柑橘木蝨之抑制或許有某種程度上之競爭，但兩者之協力效果卻更明顯。如 1987 年 10 月至 1990 年 6 月間在中部地區霧峰，不論月橘為盆栽或綠籬，在棲所穩定性較高之條件下，當 2 至 4 月間紅腹跳小蜂發生較少時，亮腹釉小蜂對柑橘木蝨若蟲之寄生率竟各高達 80～99.7% 與 58～95%（圖 7），顯著壓抑正

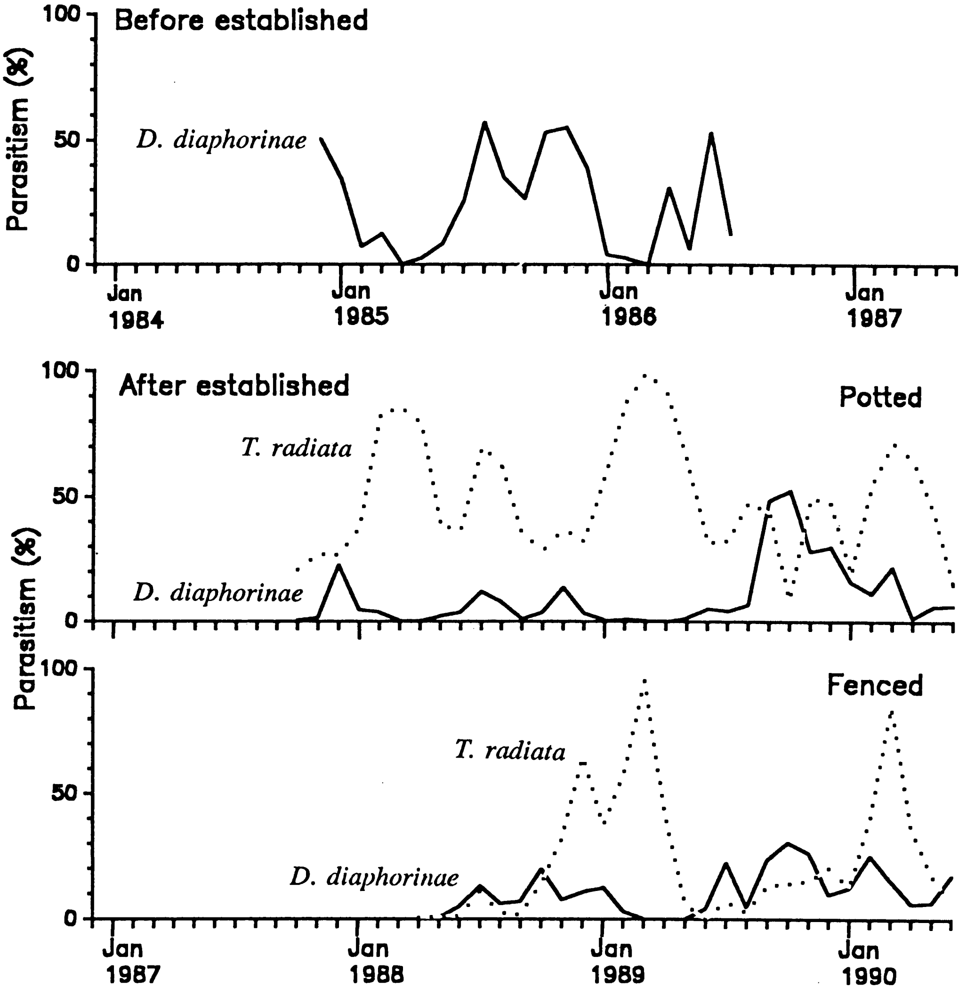

圖 7. 在臺中霧峰月橘棲所穩定狀況下亮腹釉小蜂立足後與紅腹跳小蜂間之競爭。

Fig. 7. Competition between *T. radiata* and *D. diaphorinae* after *T. radiata* established under stable habitat of *M. paniculata* at Wufeng, Taichung.

値激增期之柑橘木蝨族群，使其密度下降（圖3）；而6至12月間，兩種寄生蜂對柑橘木蝨之總寄生率亦在32～80% 之間（圖3），其中紅腹跳小蜂與亮腹釉小蜂各占1.1～52.5%與9.0～70.4%（圖7），顯然超過1984年11月至1986年7月間在亮腹釉小蜂未立足前，紅腹跳小蜂單一種之寄生率（9.6～57%，圖7）。至於南部地區亮腹釉小蜂之發生密度，除在潮洲地區因受棲所不穩定性之影響較低外，其它四處（澄清湖、屏東農專、大樹、高雄區農改場）月橘上，亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂發生密度間均略呈均勢（圖4、5）。顯示亮腹釉小蜂引進臺灣後，與本地種紅腹跳小蜂間之競爭不但不明顯，且可增加寄生蜂對柑橘木蝨之抑制效果[7]。

三、重複寄生蜂對柑橘木蝨寄生蜂之影響

古典生物防治中，爲增加天敵立足機會及其防治效力，當天敵引進時必先經檢疫過程，以隔離其重複寄生物。但有時引進之寄生蜂在當地立足後，亦會受本地重複寄生蜂之寄生，而降低其寄生力。因此爲瞭解本地重複寄生蜂對亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂之影響，乃自1985 年5月至1990年6月赴臺灣各地進行採集，共得被紅腹跳小蜂與亮腹釉小蜂寄生之柑橘木蝨乾屍各20,749與16,646個，結果發現重複寄生蜂對前者之影響較後者大。重複寄生蜂對紅腹跳小蜂之重複寄生率雖隨月份有所消長，然一般維持在20～70%之間，且在各調查年度間，除1989年因田尾地區施藥棲所被干擾外，尚屬相當穩定。如1986年1月至1989年12月四年內每年之重複寄生率各爲38.2%（n＝5,172）、38.8%（n＝5,756）、51.1%（n＝3,692） 及25.5%（n＝3,139）（圖 2）[7]。紅腹跳小蜂之重複寄生蜂種類多達11種，其中以金小蜂 *Pachyneuron concolor* Foerster、橫盾小蜂（*Chartocerus walkeri* Hayat）、臺灣蚜虻跳小蜂（*Syrphophagus taiwanus* Hayat & Lin）及矮蜂 *Marietta leopardina* Motschulsky 較常見[7]。至於重複寄生蜂對亮腹釉小蜂之寄生情形，自1986年9月至1990年6月每年之重複寄生率各爲 1.1%（n＝1,396）、1.3%（n＝7,982）、3.8%（n＝5,387）、3.7%（n＝1,629）及5.6%（n＝252），隨調查年度而漸增，顯示亮腹釉小蜂在臺灣立足後，雖已逐漸受到本地種重複寄生蜂之寄生（圖2），但仍未影響該蜂對柑橘木蝨之抑制效果（圖3）。同時1994年，11至12月在臺灣中部霧峰與田尾地區之調查資料，亦顯示當重複寄生蜂對紅腹跳小蜂之重複寄生率高達62.1%（n＝499）與58.2%（n＝661）時，亮腹釉小蜂之被重複寄生率仍維持在9.4 %（n＝350）與5.7%（n＝332）（錢景秦和古琇芷，未發表資料）。亮腹釉小蜂之重複寄生蜂種類，自該蜂1986年初立足時即有6種，至1991年則增爲7種，其中以矮蜂 *M. leopardina*、金小蜂 *P. concolor* 及矮蜂 *Encarsia* sp. near *shafeei* 較常見[7]。

棲所穩定性對柑橘木蝨及其寄生蜂族群之影響

一般害蟲生物防治時，其棲所之穩定性常決定生物防治之成功度。由於柑橘木蝨之寄主植物如月橘與柑橘之生態環境常會因月橘綠籬每隔3～4個月之修剪與柑橘園中不定期之施藥而破壞，進而影響棲息於其上之柑橘木蝨及其寄生蜂之發生密度。其中以亮腹釉小蜂受害最大，紅腹跳小蜂次之，柑橘木蝨最小。其因歸納如下。

一、枝條修剪

(一)壽命。室內（25℃）試驗顯示，柑橘木蝨在月橘上其壽命爲93.3天[2]。而亮腹釉小與紅腹跳小蜂成蟲則需藉取食柑橘木蝨若蟲分泌之蜜露存活[7]。在25℃下，此兩種寄生蜂在無食物供應時，亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂之壽命各爲1與1.4天；供水時，壽命各爲1.7與2天；

供食純蜂蜜時，壽命則各爲22.5與60.7天[11]。因此當月橘經大幅修剪後，雖無新芽可供柑橘木蝨產卵，該成蟲仍可棲息在月橘老葉下存活3～4個月[1]；但柑橘木蝨若蟲數爲零時，將顯著影響此兩種寄生蜂之壽命。又田間有蜜源存在時，寄生蜂壽命受月橘修剪之影響，亮腹釉小蜂可能仍較紅腹跳小蜂爲大，而柑橘木蝨壽命則較不受月橘修剪與蜜源之影響。

㈡產卵習性。柑橘木蝨僅產卵於寄主植物之新芽上，因此當月橘經大幅修剪後，柑橘木蝨成蟲雖一時無法產卵，但仍可棲息於月橘老葉下，在夏季或冬季各經14～21天或60天後，待月橘新芽萌發時，再繼續產卵增殖[7]。而紅腹跳小蜂與亮腹釉小蜂，則必需在柑橘木蝨發育至第二齡與第五齡若蟲時，亦即在25℃下再各經6天與12天以後，才能找到適當齡期之寄主寄生[7,8]。若亮腹釉小蜂提早在柑橘木蝨第四齡若蟲上寄生時，則將顯著影響其雌性比（0.16），與子代之大小（雌0.91 × 0.3 mm，雄0.86 × 0.3 mm）、壽命（雌14.4天，雄7.2天）及產卵量（120粒卵／雌）[7]。因此當月橘全面修剪，此兩種寄生蜂因產卵習性而與柑橘木蝨之發生同律較弱時，則棲所之穩定性對寄生蜂之繁殖影響甚大，其中又以亮腹釉小蜂所受之影響較大。

㈢繁殖方式。紅腹跳小蜂之生殖方式爲孤雌產雌[39]，而亮腹釉小蜂爲孤雌產雄[7,20]，因而當棲所不穩定或寄主低密度發生時，亮腹釉小蜂族群增長受害較大。另外此兩種寄生蜂雖均可以卵吸收（oosorption）方式調節其產卵時機，但依室內初步結果推論，在25℃、有蜜源、棲所短期（10～20天）不穩定時，亮腹釉小蜂與寄主之同律性較紅腹跳小蜂高；但棲所長期（30～60天）不穩定時，紅腹跳小蜂與寄主之同律性較亮腹釉小蜂高[10,19]。

二、藥劑施用

柑橘木蝨對藥劑相當敏感，一般防治各種柑橘害蟲之藥劑亦對柑橘木蝨有效。因此林等[1]建議在柑橘芽期施用藥劑，可同時防治柑橘木蝨、柑橘蚜蟲類（捲葉蚜（*Aphis citricola* van der Goot）、大橘蚜（*Toxoptera citricidus*（Kirkaldy）））及柑橘潛葉蛾（*Phyllocnistis citrella* Stainton）等害蟲。但霧峰甜橙園之試驗，顯示施藥因降低柑橘木蝨之發生密度而對寄生蜂之活動有不利之影響（圖6）[7]。

寄生蜂在柑橘立枯病與柑橘木蝨綜合防治體系中之應用

Aubert[14]認爲柑橘立枯病蔓延之條件，與環境中柑橘立枯病病原之量及柑橘木蝨之密度有關。而柑橘木蝨之發生量則與寄主植物之嫩芽有密切關係[1]。另黃等[4]證實在與病區僅隔10m之健區內，每隔10天施藥（萬靈、馬拉松乳劑或好年冬精）一次，經2年尚未發現罹病株，顯見藥劑對柑橘木蝨與柑橘立枯病之抑制效果。同時在留尼旺島與中國大陸之橘園內防治柑橘木蝨時，亦實施以施用藥劑爲主之綜合防治法[16,27,34,42]。因此在柑橘園內，爲顧及1隻帶毒之柑橘木蝨成蟲即能傳病[3]、且柑橘園內不連續之芽期及施藥不利寄生蜂活動、柑橘木蝨對藥劑相當敏感、及柑橘園內蟲害種類複雜等因素時，爲減少柑橘之罹病率，在柑橘園內柑橘木蝨之防治，可忽略寄生蜂之應用，而側重在隔離病區（至少1 km或2 km以上）[27,42]種植優良品種、品系之健康苗；修剪罹病枝條、挖除病株，降低病原之感染源；注意栽培管理，促使柑橘發芽迅速整齊；在芽期使用藥劑保護新芽，不但減少柑橘木蝨媒病機率，且兼防柑橘芽期其它害蟲，如蚜蟲與潛葉蛾；並在橘園附近禁止以月橘爲綠籬，以隔離柑橘木蝨之遷入。至

於月橘上柑橘木蝨之防治方法，由於月橘既為柑橘木蝨之重要寄主植物、一般又僅作為綠籬用、且柑橘立枯病病原並不存在其植株上，同時田間試驗亦證實寄生蜂在月橘棲所較穩定狀態下，確對柑橘木蝨具抑制效果，並可避免該成蟲之顯著遷飛。因而在柑橘木蝨綜合防治體系中，在月橘上應儘可能保持其棲所之穩定性，避免經常性之大幅修剪或施藥，使已立足之亮腹釉小蜂與本地種紅腹跳小蜂能發揮其寄生能力，維持柑橘木蝨族群低密度穩定消長。

參考文獻

1. 林秀貞、柯永發、陶家駒。1973。木蝨之生態觀察與其防除試驗。中國園藝 19:234 – 242。
2. 唐立正、蘇宗宏。1984。柑橘木蝨之飼育方法及各蟲期發育之觀察。興大昆蟲學報 17:27 – 33。
3. 許長藩、夏雨華、李開本、柯沖。1990。柑橘黃龍病的病原在木蝨體內循回期的研究。植物病理學報 20: 25 – 31。
4. 黃秋雄、廖春福、張春蕉、藍調。1990。柑橘立枯病之發生蔓延與木蝨族群消長關係之研究。植物保護學會會刊 32: 167 – 176。
5. 錢景秦。1989。柑橘木蝨之生物防治。臺灣省農業試驗所特刊 27: 187 – 190。
6. 錢景秦。1992。柑橘木蝨外寄生蜂－亮腹釉小蜂之生活習性與族群生態。國立臺灣大學植物病蟲害學研究所博士論文。138頁。臺北。
7. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1991a。柑橘木蝨之生物防治 II. 亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂對柑橘木蝨之防治效果評估。中華昆蟲 11: 25 – 38。
8. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1991b。亮腹釉小蜂（*Tamarixia radiata*）之形態、生活史及其寄生策略。中華昆蟲 11: 264 – 281。
9. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1993。溫度對亮腹釉小蜂之族群增長、致死柑橘木蝨能力及貯存之影響。中華昆蟲 13: 111 – 123。
10. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1994a。亮腹釉小蜂之雌性內生殖器官、卵吸收及產卵調節能力。植物保護學會會刊 36: 19 – 30。
11. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1994b。食物對亮腹釉小蜂之壽命、卵形成及族群增長之影響。植物保護學會會刊 36: 97 – 105。
12. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1995。寄主密度對亮腹釉小蜂族群增長與致死柑橘木蝨能力之影響。植物保護學會會刊 37: 81 – 96。
13. 錢景秦、邱瑞珍、古琇芷。1988。柑橘木蝨之生物防治 I. 亮腹釉小蜂（*Tamarixia radiata*）之引進繁殖與釋放試驗。中華農業研究 37: 430 – 439。
14. Aubert, B. 1987. *Trioxz erytreae* (Del Guercio) and *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera:Psylloidea), the two vectors of citrus greening disease:biological aspects and possible control strategies. Fruits 42: 149 – 162.
15. Aubert, B. 1989. Report on citriculture in Thailand, Feb. 16th – 23rd 1989. (cited by Y. Q. Tang, 1990).
16. Aubert, B. and S. Quilici. 1984. Biological control of the African and Asian citrus psy – llids (Homoptera: Psylloidea), through eulophid and encyrtid parasites (Hymenoptera:

Chalcidoidea) in Reunion Island. pp. 100 – 108. in: Proc. 9th Conf. Inter. Organization Citrus Virol. (Garnsey, S. M., L. W. Timmer and J. A. Dodds, eds.) Riverside, CA.

17. Capoor, S. P., D. G. Rao and S. M. Viswanath. 1974. Greening disease of citrus in the Deccan trap country and its relationship with the vector, *Diaphorina citri* Kuwayama. pp. 43 – 49. in: Proc. 6th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. (Weathers, L. C. and M. Cohen, eds.) Riverside, CA.

18. Chien, C. C., S. H. Chiu and S. C. Ku. 1989. Biological control of *Diaphorina citri* in Taiwan. Fruits 44: 401 – 407.

19. Chien, C. C. and Y. I. Chu. 1993. Biological control of the citrus psyllid, *Diaphorina citri* in Taiwan. pp. 186 – 208. in: Proceedings International Symposium on the Use of Biological Control Agents under Integrated Pest Management, Fukuoka.

20. Chu, Y. I. and C. C. Chien. 1991. Utilization of natural enemies to control of psyllid vectors transmitting citrus greening. pp. 135 – 145. in: Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region Supplement No. 1. (Kiritani, K., H. J. Su and Y. I. Chu, eds.) Taipei.

21. Etienne, J. and B. Aubert. 1980. Biological control of psyllid vectors of greening disease on Reunion Island. pp. 118 – 121. in: Porc. 8th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. (Calavan, E. C., S. M. Garnsey and L. W. Timmer, eds.) Riverside, CA.

22. Gavarra, M. R. and B. G. Mercado. 1989. Progress report on studies dealing with the psyllid vector (*Diaphorina citri*) of greening disease in the Philippines. pp. 23 – 28. in: Proc. 2nd FAO - UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. (Aubert, B., C. Ke and C. I. Gonzales, eds.) Lipa.

23. Gavarra, M. R., B. G. Mercado and C. I. Gonzales. 1990. Progress report: *Diaphorina citri trapping*, indentification of parasite and possible field establishment of the imported parasite, *Tamarixia radiata* in the Philippines. pp. 246 – 250. in: Rehabilita - tion of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citri - culture. (Aubert, B., S. Tontyaporn and D. Buangsuwon, eds.) Chiang Mai.

24. Gauld, I. and B. Bolton (eds.). 1988. The Hymenoptera. pp. 9 – 29. British Museum (Natural History) Oxford University Press, New York.

25. Gottwald, T. R., B. Aubert and X. Y. Zhao. 1989. Preliminary analysis of citrus green - ing (huanglungbin) epidemics in the People's Republic of China and French Reunion Island. Phytopathol. 79: 687 – 693.

26. Huang, C. H., M. Y. Tsai and C. L. Wang. 1984. Transmission of citrus likubin by a psyllid, *Diaphorina citri*. J. Agric. Res. China 33 : 65 – 72.

27. Ke, C. 1991. The present status of citrus huanglungbin and its control in China. pp. 10 - 14. in: Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. (Ke, C. and S. B. Osman, eds.) Kuala Lumpur.

28. Lama, T. K., C. Regmi and B. Aubert. 1988. Distribution of the citrus greening disease

vector (*Diaphorina citri* Kuw.) in Nepal and attempts to establish biological control. pp. 255 – 257. in: Proc. 10th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. (Timmer, L. W., S. M. Garnsey and C. Navarro, eds.) Riverside, CA.

29. Mercado, B. G., F. Pableo, M. R. Gavarra and C. I. Gonzales. 1991. Population studies and biological control of *Diaphorina citri* Kuw. – the insect vector of citrus greening disease in the Philippines. pp. 105 – 117. in: Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integreted Citrus Health Management. (Ke, C. and S. B. Osman, eds.) Kuala Lumpur.

30. Mohd. Shamsudin, O. and S. Quilici. 1991. Trapping studies of citrus greening vector, *Diaphorina citri* Kuwayama, natural emenies and alternate hosts in Malaysia. pp. 118 – 127. in: Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. (Ke, C. and S. B. Osman, eds.) Kuala Lumpur.

31. Nariani, T. K. and G. R. Singh. 1971. Epidemiological studies on the citrus die – back complex in India. Proc. Indian Nat. Sci. Acad. B. 37: 365 – 371.

32. Nurhadi. 1989. Integrated approaches to formulate control measure against greening vector, *Diaphorina citri* Kuw. in Indonesia. pp. 47 – 49. in: Proc. 2nd FAO – UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. (Aubert, B., C. Ke and C. I. Gonzales, eds.) Lipa.

33. Otake, A. 1990. Bibliography of citrus greening disease and its vectors attached with indices, and a critical review on the ecology of the vectors and their control. Japan Intern. Cooperation Agency No. 10, 161 pp.

34. Qian, J. 1989. Quarantine and control strategies of the citrus greening disease in China. pp. 57 – 62. in: Proc. 2nd FAO – UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. (Aubert, B., C. Ke and C. I. Gonzales, eds.) Lipa.

35. Sadana, G. L. and K. V. Kaur. 1980. Feeding intensity and food preference of the salti – cid spider, *Marpissa tigrina* Tikader. Sci. Curt. 46: 114 – 115. (cited by A. Otake, 1990)

36. Tang, Y. Q. 1989. A preliminary survey on the parasite complex of *Diaphorina citri* Kuwayama in Fujian. pp. 10 – 15. in: Proc. the 2nd FAO – UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. (Auert, B., C. Ke and C. I. Gonzales, eds.) Lipa

37. Tang, Y. Q. 1990. On the parasite complex of *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in Asian – Pacific and other areas. pp. 240 – 245. in: Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citriculture. (Aubert, B., S. Tontyaporn and D. Buangsuwon, eds.) Chiang Mai.

38. Tang, Y. Q. and B. Aubert. 1990. An illustrated guide to the identification of parasitic wasps associated with *Diaphorina citri* Kuwayama in the Asian – Pacific region. pp. 228 – 239. in: Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citriculture. (Aubert, B., S. Tontyaporn and D. Buangsuwon, eds.) Chiang Mai.

39. Tang, Y. Q. and Z. P. Huang. 1991. Studies on the biology of two primary parasites of *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). pp. 91-98. in: Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. (Ke, C. and S. B. Osman, eds.) Kuala Lumpur.

40. Tang, Y. Q. and M. X. Wu. 1991. Interspecific host discrimination between two primary parasites of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama. pp. 99-104. in: Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. (Ke, C. and S. B. Osman, eds.) Kuala Lumpur.

41. Xie, P. H., C. A. Su and Z. G. Lin. 1989. A preliminary study on the parasitic fungus of citrus psyllid, *Cephalosphorium lecanii* Zimm. pp. 35-38. in: Proc. 2nd FAO-UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. (Aubert, B., C. Ke and C. I. Gonzales, eds.) Lipa.

42. Xu, C. F., D. X. Wang and C. Ke. 1991. Report of implementation of integrated control programme of citrus huanglungbin aiming at renovating old infected orchard in epidemic zone and protecting new non-infected orchard in non-epidemic zone. pp. 55-61. in: Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Manage-ment. (Ke, C. and S. B. Osman, eds.) Kuala Lumpur.

43. Xu, C. F., Y. H. Xia, K. B. Li and C. Ke. 1988a. Further study of the transmission of citrus huanglungbin by a psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. pp. 243-248. in: Proc. 10th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. (Timmer, L. W., S. M. Garnsey and L. Navarro, eds.) Riverside, CA.

44. Xu, C. F., Y. H. Xia, K. B. Li and C. Ke. 1988b. Further study on the transmission of citrus huanglungbin by psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. in: Reviews and abstracts. Regional Workshop on Citrus Greening Huanglungbin Disease held in Fuzhou, China, December 6th-12th, 1987. (cited by A. Otake, 1990)

45. Xu, C. F., Y. H. Xia, K. B. Li and C. Ke. 1988c. Studies on the law of transmission of citrus huanglungbin by psyllid, *Diaphorina citri* and the distribution of pathogen (in Chinese). J. Fujian Acad. Agric. Sci. 3(2): 57-62. (cited by A. Otake, 1990)

The Role of Parasitoids in The Pest Management of Citrus Psyllid

Ching-Chin Chien
Asistant Entomologist, Department of Applied Zoology, TARI

Summary

Control of citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama has been emphasized because it is a vector of citrus likubin which seriously threatens the citrus industry of Taiwan. *Tamarixia radiata* (Waterston) was introduced from Reunion by Taiwan Agricultural Research Institute and evaluated its efficiency against citrus psyllid from 1983 to 1990. The results showed that the introduced parasitoid *T. radiata* has the ability to depress the population of citrus psyllid which did not disperse actively on jasmine orange when the host environment is stable. Therefore, we suggested to maintain a stable jasmine orange situation by avoiding large scale pruning and insecticide spraying to provide suitable habitat for *T. radiata* and the native wasp *Diaphorencyrtus diaphorinae* (Lin & Tao). However, It is not practical to use parasitoids in orchard due to the following reasons: 1. a single citrus psyllid carrying the pathogen can transmit likubin; 2. parasitoid activities are seriously limited by discontinuous budding period and the insecticide application; 3. the citrus psyllid is easily controlled by chemicals; 4. and insecticide application is necessary for citrus cultivation. Therefore, we suggested to use cultivation systems and insecticides without parasitoids for the control of the citrus psyllid to reduce likubin transmission in citrus orchards.

Key words: *Diaphorina citri*, Parasitoid, Biological control, Integrated pest management system